

СЕКЦІЯ №4 — ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

**УДК 681.2.084**

*Н.В. Вікторова, магістр гр. ПІ-71мп, ст. вик. Зайцев В.М.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПРУЖНИЙ ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ З МЕХАНІЧНИМ ПІДСИЛЮВАЧЕМ**

**Анотація.** В статті розглянуто цифровий вимірювальний перетворювач відносних деформацій, його призначення, складові. Розглянуто конструкцію пружного чутливого елемента датчика деформацій. Побудовано структурну схему пружного елемента та оцінено чисельне значення його чутливості.

**Ключові слова:** деформація, пружний елемент, підсилювач.

### **ВСТУП**

В наш час при проведенні наукових досліджень, керуванні технологічними процесами, торгових операціях виникає необхідність застосовувати високоточні засоби вимірювання фізичних величин. Найбільш поширеним класом вимірювальних перетворювачів являються перетворювачі, які використовують тензорезистивний ефект. Об'єкти до яких прикладається зусилля отримують деякі приращення розмірів, тобто деформації розтягу, стиску, або кручення. Тому для оцінки впливу навантажень та реакцій на них доцільно використовувати вимірювальні перетворювачі відносних деформацій, вихідні сигнали яких лінійно пов'язані з розміром внутрішніх механічних напруг. Їх основними перевагами є малі габарити та маса, висока точність та надійність, простота використання.

Звичайно тензорезисторні датчики наклеюються на спеціально підготовлену поверхню (зачищену, знежирену), але не завжди є можливість виконати необхідні дії на об'єкті вимірювання. Традиційним рішенням являється застосування перетворювачів з вже наклеєними тензорезисторами на допоміжний пружний елемент з подальшим кріпленням його на об'єкт дослідження зварюванням [1]. Такі конструкції перетворювачів мають суттєво меншу чутливість та точність. Застосування наступних послідовно включених електронних підсилювачів не поліпшують основні метрологічні характеристики перетворювачів деформації. З метою підвищення точності вимірювання пропонується конструкція вимірювача з механічним посиленням вхідного сигналу та його перетворенням в цифровий код безпосередньо в первинному вимірювальному перетворювачі.

Такий датчик може закріплюватись безпосередньо на опорах мостів, опорах будівель з великими прольотами, конструкціях виробничих цехів та будь-яких об'єктах де необхідно вимірювати та контролювати деформації. Це дозволяє суттєво розширити зону застосування методів тензометрії для дослідження міцності неметалевих конструкцій та об'єктів з важкими умовами експлуатації.

### **ОПИС ВИМІРЮВАЧА ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ**

Вимірювач відносних деформацій представляє собою пружний елемент, який закріплюється на об'єкті що досліджується. На одній стороні пружного

елементу приклеєні тензорезистори. З протилежної сторони елемента кріплять електронні компоненти прецизійного аналогового підсилювача та аналого-цифрового перетворювача. В конструкції застосовані фольгові константанові тензорезистори на поліамідній підложці з компенсацією температурних похибок які з'являються при відмінності лінійних температурних розширень матеріалів об'єкту дослідження та матеріалу пружного елемента. Топологія тензоструктури уявляє собою конструктивно об'єднані на одній підложці в мостову схему чотири тензорезистора, два з яких вимірюють повздовжню, а два інших поперечну деформацію пружного елемента.

В процесі вимірювання деформація досліджуваного об'єкта передається пружному елементу. Закріплені на ньому тензорезистори змінюють свій опір пропорційно відносній деформації, яку вони сприймають. Мостова схема живиться постійною напругою, яка одночасно являється опорною напругою сигма-дельта аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Сигнал з вимірювальної діагоналі підсилюється інтегрованим в АЦП підсилювачем, перетворюється в цифровий код та оброблюється для передачі за стандартом інтерфейсу RS422.

Якщо поверхня досліджуваного об'єкта не дозволяє закріпити пружний елемент датчика безпосередньо до об'єкту за допомогою різних з'єднань (не дозволяється робити отвори в об'єкті, або поверхня не плоска), тоді рекомендується використовувати допоміжні бабишки, які з одного боку повторюють геометрію поверхні. Бабишки приварюються до об'єкту вимірювання, а вже до них прикручується датчик.

В усіх випадках надійне зчеплення поверхонь та фіксація бази вимірювання деформації відбувається за рахунок сил тертя.

## **КОНСТРУКЦІЯ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТУ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ**

Основним конструктивним елементом цифрового вимірювального перетворювача відносних деформацій є його пружний елемент. Пружний елемент представлений у вигляді металевої конструкції, яка сприймає деформацію об'єкта вимірювання та механічно підсилює її.

На рис. 1 зображено зовнішній вигляд прийнятого за аналог розробки пружний елемент аналогового датчика деформацій, SLB-700A/06VA фірми HBM [2].



Рисунок 1. Зовнішній вигляд пружного елемента датчика деформацій

Пружний елемент має передавати деформацію об'єкта вимірювання, механічно підсилювати її, повинен мати високі пружні властивості, малі габарити та масу. Для реалізації цих вимог обираємо сталь 35 ХГСА в якості матеріалу з якого буде виготовлено пружний елемент датчика деформацій.

Сталь марки 35ХГСА відноситься до класу конструкційних легованих сталей, яка має мінімальні показники пружних недосконалостей, підвищену міцність та стійкість до значних навантажень.

Хімічний склад сталі марки 35ХГСА за ГОСТ 4543-71: вуглець – 0,32-0,39%; хром – 1,1-1,4%; марганець 0,8-1,1%; кремній – 1,1-1,4%; мідь – до 0,3%; нікель – до 0,3%.

Дані про механічні властивості даної сталі свідчать про стабільність геометричних та пружних характеристик деталей виготовлених з цього матеріалу з плином часу та під дією зовнішніх факторів. Сталь 35ХГСА технологічна при механічній та термічній обробці при виготовленні з неї деталей[3].

### СТРУКТУРНА СХЕМА ТА ЧУТЛИВІСТЬ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТУ

Для оцінки ефективності застосування механічного підсилення необхідно провести аналіз чутливості пружного елемента до сприймання відносної деформації. Для визначення чутливості пружного елемента датчика деформацій необхідно визначити принцип передавання деформації від об'єкта вимірювання на пружний елемент. Для цього було умовно розділено пружний елемент на три частини та визначено габаритні характеристики поперечних перерізів на цих ділянках. Умовні позначення ділянок поперечних перерізів та габаритних розмірів зображено на рис. 2.

Як видно з рисунку, в конструкції пружного елемента присутня ділянка I яка найбільше деформується при його розтягу-стиску. Це відбувається за рахунок того, що площа поперечного перерізу даної ділянки найменша на всій площині вимірювання. Саме на ділянку I слід наклеювати тензорезистори.

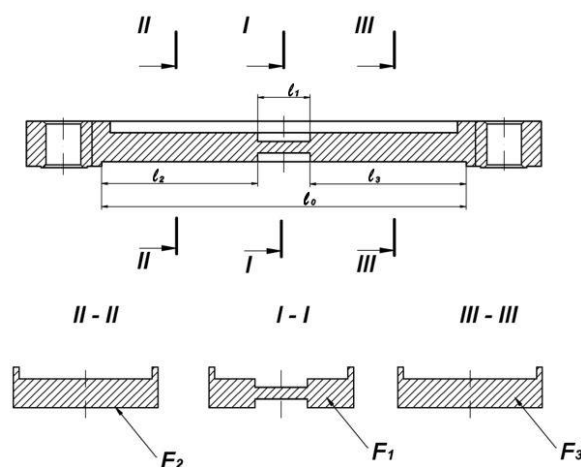


Рисунок 2. Умовні позначення ділянок поперечних перерізів

Для визначення загальної чутливості пружного елемента цифрового вимірювального перетворювача відносних деформацій побудуємо структурну

схему з зворотнім зв'язком (рис. 3) та оцінимо вплив на її величину геометричних параметрів кожної з ділянок.

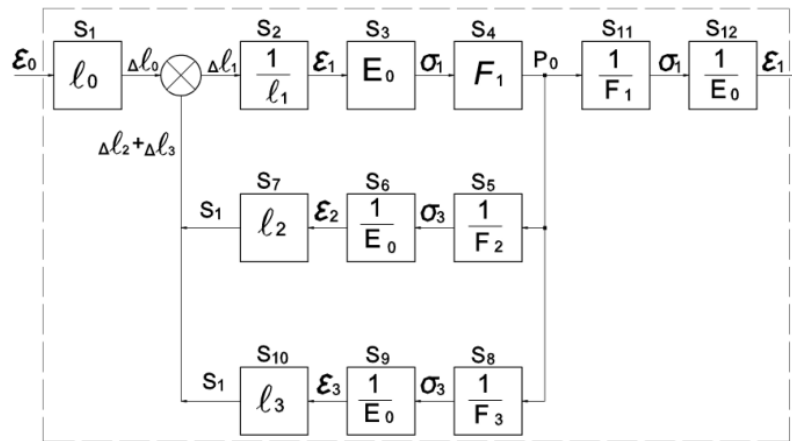


Рисунок 3. Структурна схема пружного елемента:

$\ell_0$  – база виміру деформацій;  $\ell_1$  – база I ділянки виміру;  $\ell_2$  – база II ділянки виміру;  
 $\ell_3$  – база III ділянки виміру;  $F_1$  – площа перерізу I ділянки;  $F_2$  – площа перерізу II ділянки;  
 $F_3$  – площа перерізу III ділянки;  $E_0$  – модуль пружності матеріалу.

За структурною схемою чутливість пружного елемента буде дорівнювати:

$$S_{нче} = S_1 * \frac{S_2 * S_3 * S_4}{1 + S_2 * S_3 * S_4 * (S_5 * S_6 * S_7 + S_8 * S_9 * S_{10})} * S_{11} * S_{12} \quad (1)$$

Підставимо до (1) формульні вирази чутливостей кожної ланки схеми, отримаємо значення коефіцієнту механічного підсилення в вигляді чутливості пружного елемента:

$$S_{нче} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} = \ell_0 * \frac{\frac{E_0 * F_1}{\ell_1} * \frac{1}{F_1 * E_0}}{1 + \frac{E_0 * F_1}{\ell_1} * \left( \frac{\ell_2}{E_0 * F_2} + \frac{\ell_3}{E_0 * F_3} \right)} = \frac{\ell_0}{\ell_1} * \frac{1}{1 + \frac{\ell_2}{\ell_1} * \frac{F_1}{F_2} + \frac{\ell_3}{\ell_1} * \frac{F_1}{F_3}} \quad (2)$$

Числові значення параметрів дорівнюють:

$\ell_0 = 63(\text{мм})$ ;  $\ell_1 = 9(\text{мм})$ ;  $\ell_2 = 27(\text{мм})$ ;  $\ell_3 = 27(\text{мм})$ ;

$F_1 = 38(\text{мм}^2)$ ;  $F_2 = 129(\text{мм}^2)$ ;  $F_3 = 129(\text{мм}^2)$ ;  $E_0 = 2,1 \cdot 10^{11}(\text{Па})$ .

Підставивши числові значення у формулу (2) отримаємо:

$$S_{нче} = \frac{63}{9} * \frac{1}{1 + \frac{27}{9} * \frac{38}{129} + \frac{27}{9} * \frac{38}{129}} = 2,53$$

## ВИСНОВОК

Використання конструктивно допустимих геометричних параметрів пружного елемента в конструкції цифрового вимірювального перетворювача дає можливість механічно підсилити деформацію в 2,53 раз, що підвищить

точність вимірювання відносної деформації. Виходячи з рівняння чутливості пружного елементу можна зробити висновок, що матеріал пружного елементу не впливає на розмір чутливості вимірювання відносних деформацій. Проте вибір матеріалу необхідно робити за його механічними характеристикам, врахувавши умови експлуатації та діапазон вимірювальних величин.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Клокова Н.П. Тензорезисторы: Теория, методики расчета, разработки. - М.: Машиностроение, 1990. – 224 с: ил.
2. Датчик деформації SLB-700A/06VA1 – Режим доступа: [http://www.hbm.ru/upload/iblock/8e8/SLB700A06VA1&2\\_ds\(b3255-1.0ru\).pdf](http://www.hbm.ru/upload/iblock/8e8/SLB700A06VA1&2_ds(b3255-1.0ru).pdf)
3. ГОСТ 4543-71 Прокат легированной конструкционной стали. Технические условия. – Введ. 01.01.73.– М.: Издательство стандартов, 1973. – 40 с.

*Наук. керівник – ст. вик. Зайцев В.М.*